

SISTEM KONTROL PROPORSIONAL INTEGRAL DERIVATIF PADA *MINI CONVEYOR* DENGAN PROTOKOL *MESSAGE QUEUING TELEMETRY TRANSPORT* BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Puthut Giri Winoto

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : puthutwinoto@mhs.unesa.ac.id

Raden Roro Hapsari Peni Agustin Tjahyaningtjas

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : hapsaripeni@gmail.com

Abstrak

Pengontrolan kecepatan motor pada *conveyor* sangat perlu diperhatikan agar bisa berputar pada *setpoint* yang diinginkan. Kontroler yang sering digunakan adalah kontroler PID. Kontroler PID memerlukan parameter K_p , K_i , K_d , dan *setpoint* untuk bekerja. Parameter tersebut perlu disesuaikan agar sistem bekerja dengan optimal. Kesesuaian parameter bisa dilihat dengan grafik kecepatan motor terhadap waktu. Selama ini penyesuaian parameter dan pemantauan respon sistem dilakukan melalui kabel dengan jarak yang terbatas. Tujuan penelitian ini adalah membuat sistem kontrol Proporsional Integral Derivatif pada mini conveyor dengan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* berbasis *Internet of Things* sehingga penyesuaian parameter dan pemantauan respon sistem bisa dilakukan dari jarak jauh sekaligus mengetahui unjuk kerja sistem. Dari 8 pengujian BER yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa BER bernilai 0 untuk masing-masing percobaan. Percobaan 8 kali tersebut meliputi 10 detik, 30 detik, 60 detik, 90 detik, 120 detik, 150 detik, 180 detik, dan 210 detik. Dari pengujian PID yang dilakukan, didapatkan nilai $K_p=0,72$; $K_i=26,67$; $K_d=0,02$. Ess (*error steady state*) pada pengujian tanpa beban sebesar 1,07%, pada beban 1 Kg sebesar 2,16%, dan pada beban 2 Kg sebesar 1,74%.

Kata Kunci: *Conveyor*, Kontroler PID, *Internet of Things*, MQTT.

Abstract

Motor speed controlling on conveyor is necessary considered in order control the speed of motor at the desired setpoint. The most commonly used controller is PID controller. The PID controller requires K_p , K_i , K_d and setpoint parameters to work. These parameter need to be tuned to work optimally on the system. The well tuned parameters can be considered with the motor speed over time graph. Nowadays, parameters tuning and system response monitoring is done via cable with limited distance. The objective of this research is to make Proportional Integral Derivative control system on mini conveyor with Message Queuing Telemetry Transport protocol based on Internet Of Things so that the parameters tuning and system response monitoring can be done by Android smartphone from long distance and also to know the system performance. From 8 experiments performed, it found that the BER was 0 for each experiment. The 8 experiments were 10 seconds, 30 seconds, 60 seconds, 90 seconds, 120 seconds, 150 seconds, 180 seconds, and 210 seconds. From the PID experiments performed, PID parameter was $K_p=0,72$; $K_i=26,67$; $K_d=0,02$. Ess (*error steady state*) on experiment without load was 1,07%, on 1 Kg load was 2,16%, and on 2 Kg load was 1,74%.

Keywords: Conveyor, PID Controller, Internet of Things, MQTT.

PENDAHULUAN

Conveyor adalah suatu sistem mekanik yang berfungsi memindahkan barang dari suatu tempat ke tempat yang lain. *Conveyor* banyak dipakai di industri untuk memindahkan barang yang jumlahnya sangat banyak dan berkelanjutan. Dalam kondisi tertentu, conveyor banyak dipakai karena mempunyai nilai ekonomis dibanding transportasi berat. *Conveyor* dapat memobilisasi barang dalam jumlah banyak dan berkelanjutan dari satu tempat ke tempat yang lain. (Suluhito, 2012).

Prinsip kerja *conveyor* adalah memindahkan barang yang ada di atas *belt*. *Belt* digerakkan oleh motor

penggerak melalui katrol. Motor penggerak diberi tegangan agar bergerak sesuai dengan kecepatan yang diinginkan (*set point*).

Semakin banyak barang pada *belt conveyor*, maka semakin berat beban motor penggerak. Hal ini mengakibatkan turunnya kecepatan motor penggerak. Keadaan ini merupakan kerugian karena *conveyor* tidak dapat bekerja sesuai dengan *set point*.

Untuk menjaga kecepatan *conveyor* tetap stabil sesuai *set point* walaupun bekerja dengan beban yang bervariasi, dibutuhkan sebuah kontroler yang dapat mengatur kecepatan motor penggerak *conveyor*. Kontroler yang umum digunakan adalah kontroler PID

(Proporsional Integral Derivatif). Kontroler PID memerlukan parameter *set point*, K_p , K_i dan K_d untuk bekerja.

Untuk menilai penyetelan parameter kontroler PID, diperlukan pemantauan dan analisis keluaran kontroler PID terhadap waktu (respon sistem). Agar mudah dipahami, respon sistem ditampilkan dalam bentuk grafik.

Penyetelan parameter-parameter dan pemantauan respon sistem kontroler PID dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu: melalui *keypad* dan/atau PC/komputer yang terhubung pada kontroler melalui kabel. Hal ini menyebabkan jarak penyetelan dan pemantauan terbatas pada kabel yang digunakan.

Untuk memudahkan penyetelan dan pemantauan sistem kontrol PID agar bisa dilakukan kapan saja dibutuhkan koneksi internet. Penggunaan internet untuk memudahkan penyetelan dan pemantauan adalah konsep dari *Internet of Things* (IoT). IoT merupakan sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus.

Terdapat beberapa pilihan protokol untuk menerapkan IoT, salah satunya adalah *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). "Protokol SCADA" dan "*MQ Integrator SCADA Device Protocol*" (MQIsdp), keduanya adalah nama lama dari MQTT. Spesifikasi protokol telah diterbitkan secara terbuka dengan lisensi bebas royalti selama bertahun-tahun. MQTT ini sederhana dan ringan, dirancang untuk perangkat terbatas dan jaringan dengan *bandwidth* rendah, latensi tinggi atau tidak dapat diandalkan. Sehingga MQTT cocok untuk komunikasi "*machine to machine*" (M2M) dan aplikasi *mobile* yang *bandwidth* dan daya baterainya rendah.

Oleh sebab itu, diperlukan penelitian mengenai "Sistem Kontrol Proporsional Integral Derivatif dengan Protokol *Message Queuing Telemetry Transport* Berbasis *Internet of Things*" agar proses penyetelan dan pemantauan dapat dilakukan di mana saja dan kapan saja.

KAJIAN PUSTAKA

Conveyor

Conveyor adalah bagian umum dari peralatan penanganan material mekanis yang bergerak dari satu lokasi ke lokasi lain. Conveyor terutama berguna dalam aplikasi yang melibatkan transportasi bahan berat atau besar (Anon, 2010).

Conveyor memungkinkan transportasi cepat dan efisien untuk berbagai bahan. Banyak jenis conveyor yang tersedia, dan digunakan sesuai dengan kebutuhan berbagai industri yang berbeda (Anon, 2010). Gambar 1 menunjukkan ilustrasi conveyor:



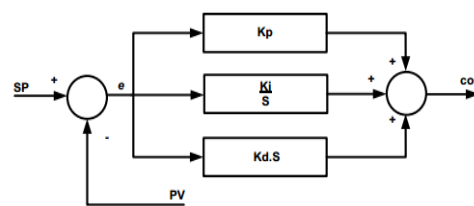
Gambar 1. Ilustrasi Conveyor

(Sumber : Anon, 2010)

Kontroler PID

Dalam suatu sistem kendali otomatis dikenal adanya beberapa aksi pengendalian, diantaranya aksi kendali *On/Off*, aksi kendali proporsional (P), aksi kendali integral (I) dan aksi kendali differensial (D). Masing-masing aksi kendali tersebut mempunyai keunggulan tertentu. Aksi kendali *On/Off* mempunyai keunggulan waktu naik yang cepat, aksi kendali proporsional mempunyai keunggulan waktu naik yang cepat dan stabil, aksi kendali integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil kesalahan, dan aksi kendali differensial memiliki keunggulan meredam kekurangan tanggapan atau kelebihan tanggapan. Untuk mendapatkan suatu sistem kendali dengan hasil pengendalian yang memiliki waktu naik yang cepat, kesalahan yang kecil dan kestabilan yang baik, dapat dilakukan dengan menggabungkan ketiga aksi kendali tersebut menjadi aksi kendali PID (Gunterus, 1994).

Kontrol PID adalah gabungan dari tiga macam kontroler, yaitu pengontrol proporsional (*Propotional Controller*), pengontrol integral (*Integrall Controller*) dan pengontrol turunan (*Derivative Controller*) (Doren V.V., 2009). Gambar 2 menunjukkan struktur kontroler PID.



Gambar 2. Struktur Kontroler PID

(Sumber : Ali, 2004)

Internet of Things

Internet Of Things bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus menerus. Pada dasarnya *Internet Of Things* mengacu pada benda yang dapat diidentifikasi secara unik sebagai representatif virtual dalam struktur berbasis internet. Cara kerja *Internet Of Things* adalah interaksi antara sesama mesin yang terhubung secara otomatis tanpa campur tangan pengguna dan dalam jarak berapa pun (Kurniawan, 2016).

Agar tercapainya cara kerja *Internet Of Things* tersebut di atas, internet lah yang menjadi penghubung di antara interaksi kedua mesin tersebut. Sementara pengguna bertugas sebagai pengatur dan pengawas bekerjanya alat tersebut secara langsung. Manfaat yang didapatkan dari konsep *Internet Of Things* itu sendiri adalah pekerjaan dilakukan dengan lebih cepat, mudah, dan efisien (Kurniawan, 2016).

STM32F103C8T6

Dalam situs resmi ST Microelectronics ST <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f103c8.html>, STM32F103C8T6 adalah mikrokontroler dari perusahaan ST kelas menengah yang memiliki arsitektur berkinerja tinggi dengan inti ARM Cortex-M3 32-bit RISC yang bisa beroperasi hingga frekuensi 72 MHz. Mikrokontroler ini dilengkapi dengan memori flash 64 Kbytes dan SRAM 20Kbytes. Mikrokontroler ini memiliki berbagai periferal yang tersambung di kedua bus APB (*Advanced Peripheral Bus*).

Mikrokontroler ini beroperasi pada rentang tegangan 2,0 hingga 3,0 V. Mikrokontroler ini dapat beroperasi pada rentang suhu -40 hingga +85°C. Mikrokontroler ini hemat daya sehingga memungkinkan didesain aplikasi yang berdaya rendah.

ESP8266

ESP8266 merupakan modul wifi yang berfungsi sebagai perangkat tambahan mikrokontroler agar dapat terhubung langsung dengan wifi. Modul ini membutuhkan daya sekitar 3.3V. Modul ini juga dilengkapi dengan prosesor, memori dan GPIO dimana jumlah pin bergantung dengan jenis ESP8266 yang digunakan (Widiyawan, 2016). Gambar 3 berikut menunjukkan modul ESP8266:



Gambar 3. ESP8266

(Sumber : Widiyawan, 2016)

MQTT

Dalam halaman *Frequently Asked Question* pada situs resmi MQTT di <http://mqtt.org/faq>, MQTT singkatan dari *Message Queuing Telemetry Transport*. MQTT menggunakan metode *publish/subscribe*, sangat sederhana dan ringan, dirancang untuk perangkat terbatas

dan jaringan dengan *bandwidth* rendah, latensi tinggi atau tidak dapat diandalkan. Prinsip desainnya adalah untuk meminimalkan *bandwidth* jaringan dan kebutuhan sumber daya perangkat sambil berusaha memastikan keandalan dan beberapa tingkat kepastian pengiriman. Prinsip-prinsip ini sangat cocok untuk komunikasi "*machine to machine*" (M2M) atau "*Internet of Things*" yang ada di dunia, dan untuk aplikasi mobile yang *bandwidth* dan daya baterainya rendah.

Rotary Encoder

Rotary encoder adalah divais elektromekanik yang dapat memonitor gerakan dan posisi. Rotary encoder umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah. Sehingga posisi sudut suatu poros benda berputar dapat diolah menjadi informasi berupa kode digital oleh rotary encoder untuk diteruskan oleh rangkaian kendali. Rotary encoder umumnya digunakan pada pengendalian robot, motor drive, dsb (Rizqiawan, 2009).

Bit Error Rate (BER)

Menurut Ian Poole dalam situsnya <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ber/bit-error-rate-tutorial-definition.php>, BER itu adalah parameter kunci yang digunakan untuk menilai unjuk kerja sistem yang mengirimkan data digital dari satu lokasi ke lokasi yang lain. Dalam transmisi digital, bit error rate (BER) adalah tingkat di mana kesalahan terjadi dalam sistem transmisi. Ini dapat langsung diartikan sebagai banyaknya error yang terjadi sebuah *string* yang diketahui jumlah bitnya. BER dapat dihitung dengan rumus sederhana sebagai berikut:

$$BER = \frac{\text{Error bit}}{\text{Jumlah bit}} \quad (1)$$

Keterangan:

Error bit = Jumlah bit yang *error* saat pengiriman (bit)
Jumlah bit = Total bit yang dikirim ke penerima (bit)

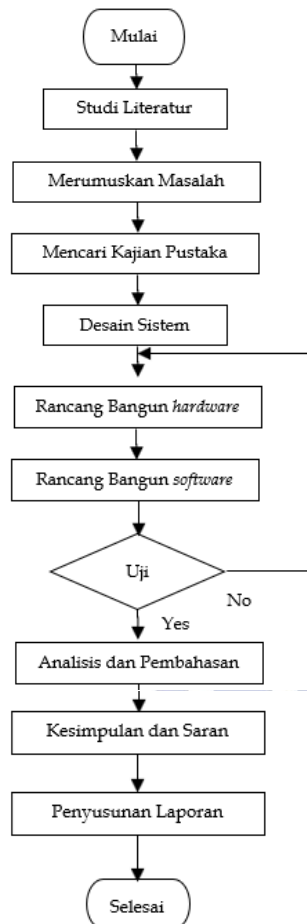
METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Tujuan Penelitian ini adalah menggunakan dan mengembangkan model matematis, teori-teori atau hipotesis.

Rancangan Penelitian

Tahapan perancangan penelitian ini secara garis besar dijelaskan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Tahapan rancangan Penelitian
(Sumber : Data Primer, 2018)

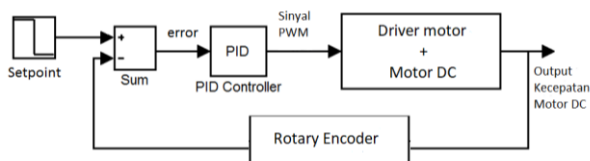
Rancang Bangun Hardware

Pada skripsi ini digunakan *plant mini conveyor* sebagai tempat sistem bekerja. Dimensi *mini Conveyor* 20 cm x 75 cm. Gambar 5 berikut merupakan model desain *mini conveyor*.



Gambar 5. Desain *mini conveyor*
(Sumber : www.indiamart.com, 2018)

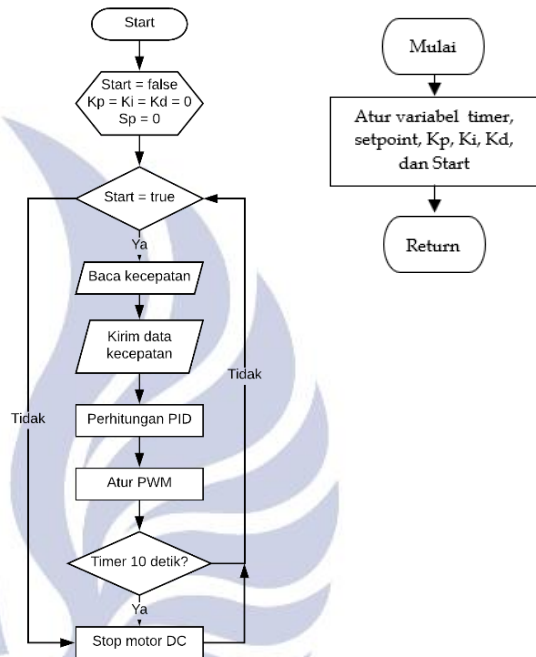
Sedangkan blok diagram sistem keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Blok diagram sistem
(Sumber : Data Primer, 2018)

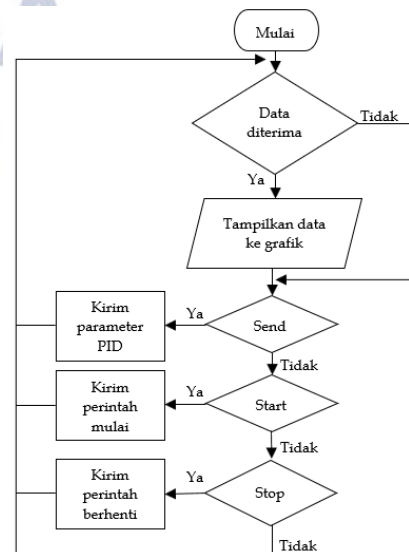
Rancang Bangun Software

Rancang bangun *software* yang dimaksud adalah sebuah program yang dimasukkan ke dalam mikrokontroler dan program yang dibuat pada perangkat Android. Program pada mikrokontroler dibuat dengan aplikasi Keil uVision5. Sedangkan Program pada perangkat Android dibuat dengan Android Studio. *Flowchart* rancangan *software* utama dan *serial interrupt* mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. *Flowchart* rancangan *software* utama dan *serial interrupt* mikrokontroler
(Sumber : Data Primer, 2018)

Sedangkan untuk *flowchart* rancangan *software* Android ditunjukkan pada Gambar 8 sebagai berikut.



Gambar 8. *Flowchart* rancangan *software* Android
(Sumber : Data Primer, 2018)

Identifikasi Plant

Pada penelitian ini, fungsi alih didapatkan dengan cara pendekatan sistem orde-1. Sehingga mendapatkan parameter-parameter dari karakteristik sistem orde-1 yaitu K dan τ . Pertama-tama percobaan dilakukan dengan *loop* terbuka sehingga didapatkan respon sistem orde-1 (Maulana dkk, 2018).

Data yang kecepatan akan disimpan dalam bentuk data excel. Setelah itu, data excel yang didapatkan akan diolah dan ditentukan berdasarkan karakteristik sistem orde-1 dengan rumus sebagai berikut :

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} \quad (2)$$

$$C\tau = Y_{ss} \cdot 0,632 \quad (3)$$

$$Ess = \frac{X_{ss} - Y_{ss}}{X_{ss}} \times 100\% \quad (4)$$

$$Kp = \frac{\tau}{\tau^* K} \quad (5)$$

$$Ki = \frac{Kp}{\tau_i} \quad (6)$$

$$Kd = Kp \times \tau_d \quad (7)$$

$$\tau_s (0,5\%) = 5\tau \quad (8)$$

$$\tau_s (2\%) = 4\tau \quad (9)$$

$$\tau_s (5\%) = 3\tau \quad (10)$$

$$\tau_r (5-95\%) = \tau \ln 19 \quad (11)$$

$$\tau_r (10-90\%) = \tau \ln 9 \quad (12)$$

$$\tau_d = \tau \ln 2 \quad (13)$$

Keterangan :

K = Gain Overall
 X_{ss} = Setpoint (RPM)
 Y_{ss} = Rata-rata respon sistem saat *steady state* (RPM)

$C\tau$ = Nilai saat respon sistem mencapai 63,2% dari *steady state* (RPM)

τ = Waktu saat respon sistem mencapai 63,2% dari *steady state* (s)

τ^* = Kecepatan respon sistem yang diinginkan

τ_i = τ (s)

τ_d = τ (s)

Kp = Gain proporsional

Ki = Gain integral

Kd = Gain derivatif

$\tau_s (0,5\%)$ = Waktu tunak $\pm 0,5\%$ dari *steady state* (s)

$\tau_s (2\%)$ = Waktu tunak $\pm 2\%$ dari *steady state* (s)

$\tau_s (5\%)$ = Waktu tunak $\pm 5\%$ dari *steady state* (s)

$\tau_r (5-95\%)$ = Waktu naik dari 5-95% dari *steady state* (s)

$\tau_r (10-90\%)$ = Waktu naik dari 10-90% dari *steady state* (s)

τ_d = Waktu tunda dari 0-50% dari *steady state* (s)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas pengujian BER, Pengujian sistem *open loop*, pengujian tanpa beban, pengujian beban 1 Kg, dan pengujian 2 Kg.

Pengujian BER

Pengujian BER dilakukan 8 kali percobaan. Masing-masing percobaan yang dimaksud adalah percobaan berdurasi 10 detik, 30 detik, 60 detik, 90 detik, 120 detik, 150 detik, 180 detik, dan 210 detik.

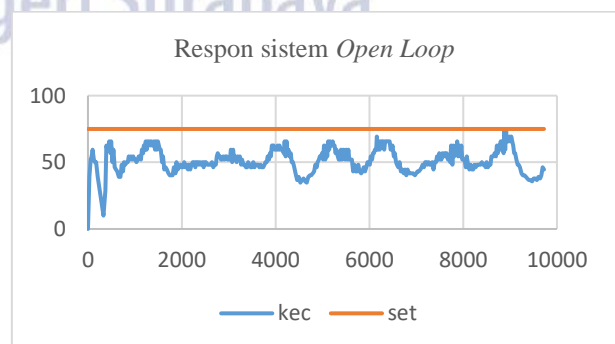
Nilai BER dihitung berdasarkan persamaan (1). Data yang dikirim diperoleh dari PC, sedangkan data yang diterima diperoleh dari aplikasi Android. Hasil pengujian BER ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian BER

Pengujian	Durasi (s)	Jumlah bit	BER
1.	10	464	0
2.	30	1424	0
3.	60	2896	0
4.	90	4344	0
5.	120	5776	0
6.	150	7184	0
7.	180	8936	0
8.	210	10040	0

Pengujian Open Loop

Data hasil pengujian *open loop* diperlukan untuk mendapatkan nilai Kp , Ki , dan Kd yang akan digunakan pada pengujian tanpa beban, beban 1Kg dan beban 2Kg. *Setpoint* yang digunakan adalah 75 RPM. Respon sistem pengujian *open loop* dengan sumbu x adalah waktu (ms) dan sumbu y adalah kecepatan (RPM) ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengujian *open loop*
 (Sumber : Data Primer, 2018)

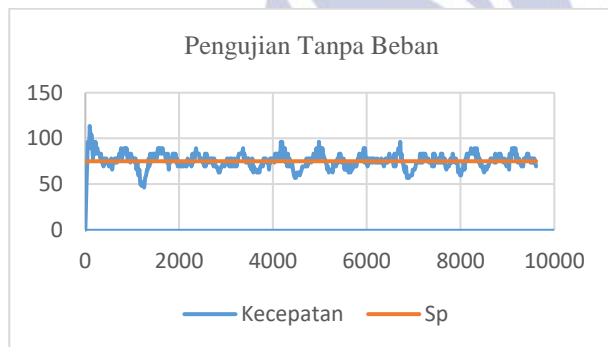
Dari data yang diperoleh pada pengujian *open loop*, maka dapat dihitung parameter-parameter PID berdasarkan persamaan (2), (3), (4), (5), (6) dan (7) yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian *open loop*

No.	Parameter	Nilai
1.	X_{ss}	75
2.	Y_{ss}	52,11
3.	K	0,69
4.	$C\tau$	32,93
5.	E_{ss}	30,52%
6.	K_p	0,72
7.	K_i	26,67
8.	K_d	0,02

Pengujian Tanpa Beban

Pengujian dilakukan dengan tanpa meletakkan beban di atas *belt conveyor*. Respon sistem pengujian tanpa beban dengan sumbu x adalah waktu (ms) dan sumbu y adalah kecepatan (RPM) ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Pengujian tanpa beban
(Sumber : Data Primer, 2018)

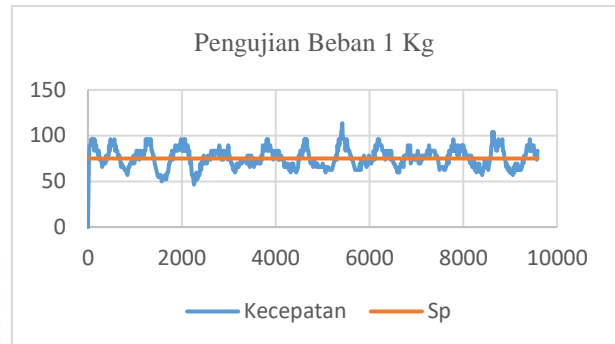
Dari data yang diperoleh pada pengujian tanpa beban, maka dapat dihitung parameter-parameter PID berdasarkan persamaan (2), (3), (4), (8), (9), (10), (11), (12) dan (13) pada pengujian tanpa beban yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian tanpa beban

Parameter	Nilai
Waktu tunak (0,5%)	0,110 detik
Waktu tunak (2%)	0,088 detik
Waktu tunak (5%)	0,066 detik
Waktu naik (5%-95%)	0,065 detik
Waktu naik (10%-90%)	0,048 detik
Waktu tunda (τ_d)	0,015 detik
Error Steady State	1,07%

Pengujian Beban 1 Kg

Pengujian dilakukan dengan meletakkan beban 1 Kg di atas *belt conveyor*. Respon sistem pengujian beban 1 Kg dengan sumbu x adalah waktu (ms) dan sumbu y adalah kecepatan (RPM) ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengujian beban 1 Kg
(Sumber : Data Primer, 2018)

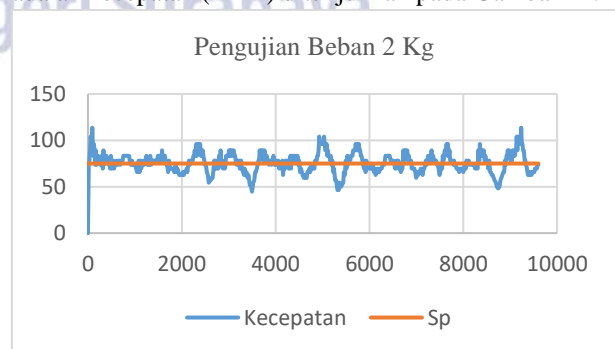
Dari data yang diperoleh pada pengujian beban 1 Kg, maka dapat dihitung parameter-parameter PID berdasarkan persamaan (2), (3), (4), (8), (9), (10), (11), (12) dan (13) pada pengujian beban 1 Kg yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian tanpa beban

Parameter	Nilai
Waktu tunak (0,5%)	0,075 detik
Waktu tunak (2%)	0,060 detik
Waktu tunak (5%)	0,045 detik
Waktu naik (5%-95%)	0,044 detik
Waktu naik (10%-90%)	0,033 detik
Waktu tunda (τ_d)	0,010 detik
Error Steady State	2,16%

Pengujian Beban 2 Kg

Pengujian dilakukan dengan meletakkan beban 2 Kg di atas *belt conveyor*. Respon sistem pengujian beban 2 Kg dengan sumbu x adalah waktu (ms) dan sumbu y adalah kecepatan (RPM) ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Pengujian beban 2 Kg
(Sumber : Data Primer, 2018)

Dari data yang diperoleh pada pengujian beban 2 Kg, maka dapat dihitung parameter-parameter PID berdasarkan persamaan (2), (3), (4), (8), (9), (10), (11), (12) dan (13) pada pengujian beban 1 Kg yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 5. Pengujian tanpa beban

Parameter	Nilai
Waktu tunak (0,5%)	0,055 detik
Waktu tunak (2%)	0,044 detik
Waktu tunak (5%)	0,033 detik
Waktu naik (5%-95%)	0,032 detik
Waktu naik (10%-90%)	0,024 detik
Waktu tunda (τ_d)	0,007 detik
<i>Error Steady State</i>	1,74%

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa Pengiriman data dari alat ke perangkat Android dilakukan dengan menggunakan protokol MQTT. Pada Tabel 1, BER pengiriman data kecepatan motor dari mikrokontroler ke perangkat Android bernilai 0 untuk masing-masing 8 kali percobaan. Percobaan 8 kali tersebut meliputi 10 detik, 30 detik, 60 detik, 90 detik, 120 detik, 150 detik, 180 detik, dan 210 detik. Pada Tabel 2, perancangan kontroler PID untuk mengendalikan *plant* menghasilkan parameter $K_p=0,72$; $K_i=26,67$; dan $K_d=0,02$. Pada Tabel 2, Ess (*Error Steady State*) rata-rata pada sistem tanpa kontroler sebesar 30,52%. Pada Tabel 3, 4 dan 5, Ess rata-rata pada sistem dengan kontroler PID tanpa beban sebesar 1,07%, dengan beban 1 Kg sebesar 2,16%, dan dengan beban 2 Kg sebesar 1,74%.

Saran

Berdasarkan simpulan diatas terdapat beberapa aspek yang dapat diperbaiki dan dikembangkan agar memberikan hasil yang lebih maksimal, yaitu membuat mekanik alat yang lebih presisi agar kerugian mekanik lebih minimal. Selain itu sistem ini dapat dikembangkan dengan menggunakan metode kontroler yang lain seperti PID-Fuzzy, *Model Predictive Control*, dan yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Muhammad. 2004. *Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID*
- Anon. 2010. *Definisi Conveyor*. (Online) <https://www.scribd.com/doc/76569915/Definisi-Conveyor>. Diakses 10 Mei 2018.
- Doren, V. V. 2009. *Sorting Out PID Controller Differences*. Control Engineering.

- Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Kurniawan. 2016. *Purwa Rupa IoT (Internet of Things) Kendali Lampu Gedung*. Lampung: Universitas Lampung.
- Indiamart. 2018. *Grey and Black Steel Conveyor Belt*. (Online) <https://www.indiamart.com/porddetail/conveyor-belt-3568633448.html>. Diakses 6 September 2018.
- Maulana, Achmad Rizal., dkk 2018. *Desain Sistem Pengendalian Kecepatan Motor DC pada Rancang Bangun Mini Conveyor Berbasis Fuzzy Logic Controller*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- MQTT Official Website. *Frequently Asked Question*. (Online) <http://mqtt.org/faq>. Diakses pada 6 Desember 2016.
- Poole, Ian. *BER Bit Error Rate Tutorial and Definition*. (Online) <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ber/bit-error-rate-tutorial-definition.php>. Diakses pada 10 Mei 2018.
- Rizqiawan, Arwindra. 2009. *Sekilas Rotary Encoder*. (Online) <https://konversi.wordpress.com/2009/06/12/skilas-rotary-encoder/>. Diakses 6 Desember 2017.
- Suluhito. 2012. *Anatomi Sistem Roller Conveyor*. (Online) <http://suluhmania.wordpress.com/2012/04/04/anatomi-sistemroller-conveyor>. Diakses 6 Desember 2017.
- ST Official Website. *STM32F103C8T6*. (Online) <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f103c8.html>. Diakses pada 23 Maret 2018.
- Widiyawan, Tresna. *Pengertian Modul Wifi ESP8266*. (Online) <https://www.warriornux.com/pengertian-modul-wifi-esp8266>. Diakses 6 September 2018.